

# Vermogenskwaliteit

## 1 Inleiding

Met de term “vermogenskwaliteit” (“Power Quality”) beschrijft men de mate waarin men de ideale voeding voor het net benadert. Afwijkingen van het ideale sinusvormige spanningsstelsel kunnen de optimale werking van een elektrische installatie in het gedrang brengen of schade veroorzaken bij de gebruiker. Deze afwijkingen kunnen van diverse aard zijn: zowel repetitief zoals harmonischen of onverwacht, zoals spanningsdips van een of meerdere perioden, of korte spanningspieken, onderspanning, overspanning of asymmetrie. Indien het over langere onderbrekingen gaat, bijvoorbeeld groter dan drie minuten, dan spreekt men van “betrouwbaarheid van de stroomvoorziening”. De combinatie van vermogenskwaliteit en betrouwbaarheid kan men als “Kwaliteit van de Elektriciteit” bestempelen.

Nauw verwant aan de term “vermogenskwaliteit” is het begrip Elektromagnetische Compatibiliteit (Electromagnetic Compatibility EMC, Elektromagnetische Verträglichkeit EMV):

Eenzijds heeft men storende verbruikers (Electromagnetic Emission, EME), anderzijds heeft men storingsgevoelige gebruikers (Electromagnetic Susceptibility, EMS).

Door een voldoende marge te houden tussen de storingen en de gevoeligheid verwacht men geen storingsproblemen wanneer men dergelijke instrumenten samen gebruikt. Er wordt wel rekening gehouden met de omgeving: in een industriële omgeving kan men meer storing toelaten dan in een huishoudelijke installatie. Normaal zorgt een zekere afstand tussen industrie en woonomgeving voor een voldoende verzwakking van de storing.

De normen gebruiken dit EMC begrip in een ruime betekenis, dit bevat dan zowel hoogfrequente ( $>9\text{kHz}$ ) storingen als laagfrequente ( $<9\text{kHz}$ ) storingen.

Er is een EMC probleem wanneer door een storingsbron een ander storingsgevoelig toestel niet naar behoren werkt. Er kan dan met de normen vergeleken worden of de storing groot is of het gevoelig toestel overgevoelig is. Zelfs als beide zijden aan de normen voldoen is dit nog geen garantie dat er geen compatibiliteitsprobleem is. Als toestellen aan de geldende normen voldoen (dit is het geval voor gekeurde apparatuur, en principieel het geval voor apparatuur met CE-merkteken), en als de installatie volgens de voorschriften van de fabrikant gebeurt, dan neemt men aan dat de installateur te goeder trouw handelt.

Technisch gesproken omvat de EMC tal van facetten die vrij divers zijn (figuur 2).

Wat normen betreft, beschouwt men zowel de vermogenskwaliteit (laagfrequent) als de radiofrequente storingen als deel van de EMC.



Fig. 2: relatie EMC – vermogenskwaliteit

De laagfrequente problematiek in hoogspanningsnetten wordt typisch geëvalueerd aan de vervorming van de spanning, meestal van de laagste harmonischen (typisch 5e en 7e harmonische). Om de laagfrequente storing in de laagspanningsnetten beperkt te houden vraagt men aan de gebruikers slechts beperkte stoorstromen te injecteren (harmonischen, startstromen, stroompieken,...). Door de vrij korte afstand van de leidingen (transmissielijnen) zijn harmonischen tot de 40e belangrijk. Voor hoogspanningsnetten worden zijn de limieten voor de harmonische stromen omgekeerd evenredig met de kortsluitimpedantie (EN 50160; IEC61000-3-6; IEC61000-3-7,...). Voor de laagspanningsnetten bijvoorbeeld <16A worden voornamelijk absolute ampères gebruikt.

## 2 Elektromagnetische Compatibiliteit.

### 2.1 Geleide Radiofrequente EME

Voor de lage radiofrequenties (< 30MHz), zijn de afmetingen van de toestellen die degelijke frequenties bewust gebruiken (zenders, sommige medische of industriële apparatuur) meestal veel kleiner dan een kwart van de golflengte.

Het toestel zelf is dan geen efficiënte straler. De storing is vooral lokaal en kan opgesplitst worden in capacitieve of inductieve koppelingen (quasistatische benadering van de wetten van Maxwell).

De toevoerleidingen en de leidingen naar een belasting kunnen echter veel langer zijn. Denk aan een combinatie net-frequentieomzetter-motor, of een PLC met zijn toevoerleidingen en signaalleidingen naar sensors en actuators.

Meestal schuilt het gevaar van straling voor lage radiofrequenties in de injectie van radiofrequente stromen in de toevoerleidingen of leidingen naar de last.

In de normen heeft men dit opgevangen door richtlijnen te formuleren die een maximumwaarde geven aan de stromen naar het net toe.

Afhankelijk van de omgeving worden meer of minder strenge limieten opgelegd.

De strengste is de verlichting omdat de storingsbronnen in groot aantal kunnen voorkomen.

Dan heeft men de kantoor- en huishoudelijke apparatuur

Men is iets toleranter voor industriële apparatuur (industrial, scientific and medical equipment CISPR 11).

De installatievoorschriften van de constructeur van het toestel moeten gevolgd worden, deze schrijft bijvoorbeeld afgeschermd kabels voor naar de last en de wijze waarop de afscherming moet verbonden worden.



Fig. 3 Installatie met een toestel en een last.

In de praktische situaties is vooral de lus met een werkelijk of parasitair aardingspad een belangrijke oorzaak van elektromagnetische straling. (figuur 3)

## 2.2 Gestraalde Radiofrequente EME

Voor de lage frequenties ( $< 30\text{MHz}$ ) is er (nog) geen Europese reglementering. Meestal verwacht men dat aan deze voorwaarden voldaan is als er de geleide EME naar het net toe voldoet. Dit is echter geen garantie, omdat de bekabeling met de (parasitaire) aarding een grote lus kan vormen die een vrij efficiënte 'lus-antenne' vormt. De afwezigheid van Europese reglementering betekent dat voorlopig de nationale reglementering van toepassing is, wet op de radiozenders.

Voor hoge radiofrequenties ( $30\text{MHz} < f < 1$  tot  $400\text{GHz}$ , afhankelijk van de toepassing) wordt de gestraalde emissie opgemeten.

Voor toestellen gebeurt dit in het open veld of in een anechoïsche kamer.

De afstanden zijn 3, 30, of 300m.

## 2.3 Laagfrequente EME

Voor laagfrequente EMC maakt men onderscheid tussen laagspanningsnetten enerzijds ( $< 1000\text{V}$ ) en midden- en hoogspanningsnetten anderzijds.

### 2.3.1 In midden- en hoogspanningsnetten

Er worden typisch spanningen gemeten. De limieten in midden- en hoogspanning worden meestal statistisch opgevat waarbij zij bijvoorbeeld gegarandeerd worden voor 95% van de tijd (over een week). Hier wordt echter niet ingegaan op de uitwerking hiervan.

### 2.3.2 In laagspanningsnetten

In laagspanningsnetten wordt de compatibiliteit meestal in stromen uitgedrukt, of wat tot stromen herleid kan worden.

#### 2.3.2.1 Harmonischen

##### *Probleemstelling*

Harmonischen in stroom of spanning verhogen de effectiefwaarde en kunnen de piekwaarde verhogen.

Sommige toestellen of delen van installaties zijn er gevoelig aan.

De harmonischen planten zich voort in het net en ondergaan andere fasedraaiingen dan de grondgolf, zodat de piekwaarde van de spanning plaatsafhankelijk wordt. Door resonanties kan de spanning- of stroomamplitude toenemen op andere plaatsen in het net.

##### *Toestellen met lage stroom in laagspanningsinstallaties*

IEC 1000-3-2:  $\leq 16A$

De toestellen worden in 4 klassen onderverdeeld:

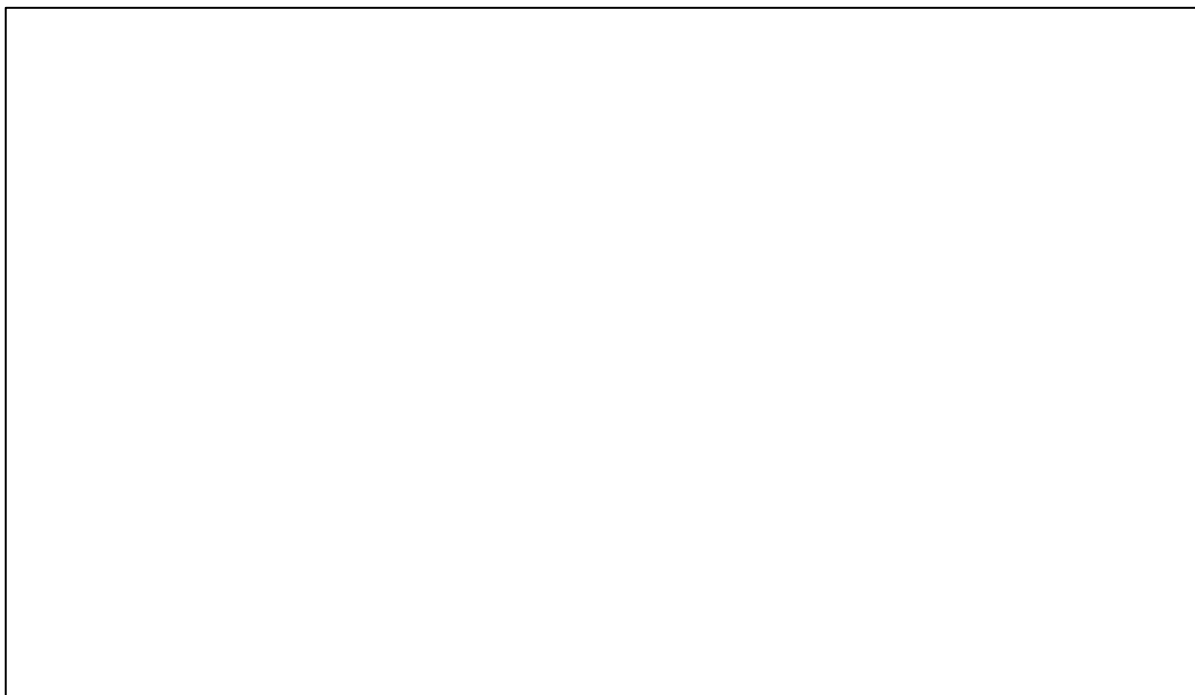
Klasse A: driefasig gebalanceerde lasten en andere apparatuur die niet in de volgende klassen valt.

Klasse B: handwerktuigen

Klasse C: Verlichting, inclusief dimmers

Klasse D: Toestellen met een speciale golfvorm "special waveshape" zoals in figuur

4



Figuur 4: Omhullende van de stroom om de 'speciale golfvorm' te definiëren.

De piekwaarde van de stroom ligt in het midden (op M). Indien de stroom 95% van de tijd binnen het vorm past, valt hij in de klasse D.

De klasse D werd ingevoerd om typische stroomvormen te penaliseren die alle een soortgelijk faseverband in harmonischen (vooral derde-) opnemen.

De norm IEC 1000-3-2 geeft een beslissingboom voor de classificatie van de toestellen en tabellen met de stroomharmonischen.

#### **Voor stromen > 16A:**

IEC 1000-3-4: >16A (1998)

Nog niet actief

#### 2.3.2.2 Spanningsschommelingen

##### *Susceptibiliteit:*

(IEC 1000-2-1)

Van toestellen wordt verwacht dat zij bepaalde spanningsschommelingen verdragen: vb. klasse 2:  $\pm 10\%$ ; klasse 3:  $+10\%$ ,  $-15\%$  minder dan 1 minuut.

Voor motoraandrijvingen (IEC 1800-3) wordt aanvaard dat dit een vermindering in mechanische output (snelheid of koppel) kan resulteren.

##### *Compatibiliteitsniveau:*

EN 50160: Spanningskarakteristieken in openbare elektriciteitsnetten.

Nominale spanning:

Driefasig met neutraal: 230V tussen fase en neutraal.

Driefasig zonder neutraal 230V lijnspanning.

Tot 2003 worden bepaalde afwijkingen toegestaan.

Afgezien van spanningsonderbrekingen wijkt de spanning minder dan  $\pm 10\%$  af voor 95% van de tijd over een week.

#### 2.3.2.3 Flikkering

##### *Situering*

Flikkering ('flicker'): indruk van niet constant zijn van de lichtstimulus, waarbij de luminantie of spectrale distributie in de tijd verandert.

Als oorspronkelijke basis werd de variatie van de lichtopbrengst van een 220V, 60W gloeilamp beschouwd, rekening houdend met de gevoeligheid van het oog. Het geheel werd wiskundig vastgelegd. Een spanningsvariatie van 1% geeft bij gloeilampen aanleiding tot ca. 3% lichtmodulatie.

De snelle spanningsvariatie ontstaat door het in- en uitschakelen van zware resistieve lasten (verwarming, infrarood stralers) of motoren met grote startstromen. Andere typische gevallen zijn cyclische belastingen zoals compressoren en ponsen en persen. Ook lasapparatuur en vlamboogovens hebben een slechte reputatie.

### **Stroom <16A**

IEC 1000-3-3 ( $\leq 16A$ ): Toestellen met lage stroom in laagspanningsinstallaties.

De norm geldt voor de meeste apparatuur op de markt.

Speciale apparatuur die niet wijd verspreid is en niet voldoet aan deze normen kan onderworpen worden aan een akkoord van het distributiebedrijf in laagspanning.

De norm stelt limieten aan de spanningsveranderingen gemeten bij een bepaalde referentieimpedantie. Onrechtstreeks legt men aldus in feite een beperking op aan de combinatie van actieve en reactieve stroomvariaties, die toestellen opnemen.

fig. 6: limiet ( $P=1$ ) voor de relatieve spanningsvariatie in functie van het aantal stapvormige equidistante spanningsveranderingen.

Voor stapvormige, symmetrische spanningsveranderingen geeft figuur 6 de beperking in functie van de frequentie, deze kromme stelt de limiet  $d$  voor waarvoor  $P = 1$ . Let op, zowel een dalende als een stijgende flank wordt beschouwd als een spanningsverandering, zodat de flickerfrequentie het dubbele is van de aangelegde stroomperturbatiefrequentie.

Flikkering kan gemeten worden volgens drie methoden:

- Het meten van spanningen bij een referentie-impedantie met een flikkeringsmeter (IEC868).
- Het gebruik van een simulatieprogramma: wanneer de relatieve spanningsverandering  $d(t)$  gekend is, kan de flikkeringsindicator  $P$  met computersimulatie berekend worden.
- Een analytische methode

### **Voor stromen >16A**

IEC 1000-3-5: >16A

De evaluatie voor grotere stromen steunt gedeeltelijk op de principes zoals voor  $I < 16A$ .

### **Voor stromen < 75A:**

Indien de limieten van IEC1000-3-3 ( $< 16A$ ) voldaan zijn, dan mag de fabrikant verklaren dat het toestel aan IEC1000-3-3 spanningsfluctuaties voldoet.

Indien deze limieten overschreden worden, dan wordt een aansluiting enkel op een impedantie lager dan de referentie-impedantie toegelaten.

### **Voor stromen > 75A**

Voor toestellen die meer dan 75A opnemen is een meer gedetailleerde studie van het net nodig en beperkt men zich tot aanbevelingen.

Het toestel ('equipment') wordt getest bij de werkelijke netimpedantie.

#### 2.3.2.4 Spanningsdips en korte onderbrekingen

##### *Susceptibiliteit:*

Spanningsdips overtreffen de normale spanningsschommelingen, de amplitude gaat van 10% tot 100%. Hun duur is korter dan 1 minuut (IEC 1000-2-4).

Onderbrekingen van 0,3 tot 0,5 seconden en 30 tot 50% vormen een probleem bij geregelde motoraandrijvingen. Toestellen voor informatietechnologie zijn vaak nog gevoeliger.

Het is meestal oneconomisch om toestellen te ontwerpen die weerstaan aan dergelijke korte onderbrekingen en men beschrijft eerder het gedrag in dergelijke situaties. Dit kan getest worden door kort na elkaar een toestel uit- en weer in te schakelen.

Eventueel moet men noodvoedingen (UPS: 'Uninterruptable Power Supply') overwegen. Deze kunnen soms met het toestel zelf een geheel vormen.

#### 2.3.2.5 Onsymmetrische spanning

##### *Problematiek:*

De spanningsonsymmetrie wordt typisch veroorzaakt worden door éénfasige lasten in een driefasig systeem. Voor kooiankeromotoren betekent dit een invers roterend veld met nagenoeg de dubbele netfrequentie. Dit invers roterend veld geeft veel verlies in de rotor mede door de stroomverdringing in de rotor. Voor de netfrequentie (50Hz) is de stroomverdringing gewenst voor een goed aanloopkoppel, men kan aldus moeilijk een lage rotorweerstand voor 100Hz bekomen.

Bij toestellen met driefasige gelijkrichters veroorzaakt onsymmetrie in de spanning een sterke onsymmetrie in de stromen.

##### *Niveaus:*

Het compatibiliteitsniveau op het aansluitpunt (PCC Point of common coupling) is naargelang de norm 2% of 3% (3%: class 3 IEC 1000-2-4; 2%: clause 6 IEC 1000-2-2 ). Men dient dus minstens met een dergelijke onbalans rekening te houden. Dit kan soms een overdimensionering van 10% vragen bij driefasige kooiankeromotoren.

De spanningsonbalans kan gedefinieerd worden volgens twee methoden: de modulusmethode en de symmetrische componenten.

#### 2.3.2.6 Frequentievariëaties

##### *Probleemstelling*

In het sterk vermaasd Europees net stelt dit meestal geen problemen, in ontwikkelingslanden is dit echter niet verzekerd. Men dient echter ook hier aandachtig te zijn indien men bijvoorbeeld noodaggregaten gebruikt. Een enge frequentielimiet eist meestal een elektronische regeling van het toerental, waar bij minder veeleisende toepassingen een mechanische toerentalregeling kan volstaan.

##### *Compatibiliteitsniveau*

EN 50160: Spanningskarakteristieken in openbare elektriciteitsnetten.

De nominale frequentie is 50Hz,

Er wordt gemeten over een periode van 10s

- Systemen die synchroon verbonden zijn en onderling verbonden systemen:
  - 50Hz  $\pm$  1% gedurende 95% van de week
  - 50Hz +4%/-6% gedurende 100% van de week
- Systemen die niet synchroon verbonden zijn (eilandbedrijf):
  - 50Hz  $\pm$  2% gedurende 95% van de week
  - 50Hz  $\pm$  15% gedurende 100% van de week

### 2.3.2.7 Spanningsinkepingen

Vooral gestuurde gelijkrichters kunnen vrij diepe inkepingen in de netspanning veroorzaken (inkeping = 'notch').

In de IEC1800-3 (Adjustable speed electrical power drive systems) vindt men een beperking hiervoor.

De diepte wordt gedefinieerd in % en de breedte in graden.

De netimpedantie wordt gemodelleerd als een zuivere zelfinductie met als reactantie  $Z = \omega \cdot L$ .

In een industriële omgeving wordt typisch **40% spanningsinkeping** toegestaan. Het geheel is echter afhankelijk van de samenwerking met andere toestellen en eventuele bijkomende eisen van gebruiker of leverancier.

De fabrikant van de aandrijving specificeert de minimale en maximale netimpedantie, nodig voor de aandrijfeenheid, of de reeds aanwezige smoorspoel in de aandrijfeenheid.

Het voldoen aan de beperking van de spanninginkepingen impliceert niet het voldoen aan harmonischen en omgekeerd.

## 2.4. Hoogfrequente EMS

Dit omvat onder meer gevoeligheid aan pulsen, 'burst' en radiofrequente velden (zie IEC 1000-4-x).

Dit wordt hier niet behandeld.

## 3 Referenties:

[1] Alain Robert, Power Quality – algemene voorstelling, Power quality: new solutions for industrial customers, Studiedag 9 okt 1998 bij Laborelec.

[2] Geert Borloo, Power Quality – "Normen en voorschriften: de analyse van de kwaliteit van de spanning en de vergelijking met normen" Studiedag 9 okt 1998 bij Laborelec.

IEC: International Electrotechnical Commission (hier vooral IEC technical committee No 77)

[www.IEC.CH](http://www.iec.ch)

CENELEC: Europese normeringsinstelling voor elektrische normen

De Stassartstraat 35, B-1050 Brussel tel 02/519 68 71 fax 02/519 69 19

BIN: Belgisch Instituut voor normalisatie: Brabanconnelaan 29, 1000 Brussel